

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-221562

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月21日

(51) Int. Cl.⁶
G 0 2 B 6/293
6/00
H 0 4 B 10/02
10/18
H 0 4 J 14/00

識別記号

F I
G 0 2 B 6/28
6/00
H 0 4 B 9/00

B
C
M
E

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-24503
(22) 出願日 平成10年(1998) 2月5日
(31) 優先権主張番号 08/796004
(32) 優先日 1997年2月5日
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596077259
ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッド
Lucent Technologies
Inc.
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700

(72) 発明者 ウィリアム アルフレド リード
アメリカ合衆国、07901 ニュージャージ
ー、サミット、ブラックバーン ロード
143

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

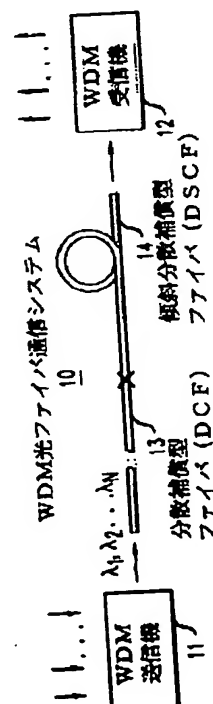
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割多重化光ファイバ通信システム

(57) 【要約】

【課題】 全てのチャネルが公称上ゼロの色分散を有するWDM光ファイバ通信システムを提供する。

【解決手段】 本発明の伝送パスは、(A) 前記波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ で第1の符号(+, -)のノンゼロの色素分散を有する第1シングルモード光ファイバと、(B) 前記波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ で第2の符号(-, +)のノンゼロの色素分散を有する分散補償型の第2シングルモード光ファイバ13と、(C) 前記波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ で分散が傾斜している傾斜分散補償型ファイバ(DSCF)と称する第3のシングルモード光ファイバ14とを含むことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 送信機(11)と、受信機(12)と、前記送信機と受信機との間を接続する光ファイバ伝送パス(13、14)とからなる波長分割多重化光ファイバ通信システム(10)において、前記システムは、波長 λ_1 から λ_N のN個の伝送チャネルで信号伝送し、ここでNは2以上の整数であり、前記伝送パス(13、14)は、

(A) 前記波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ で第1の符号(+、-)のノンゼロの色分散を有する第1シングルモード光ファイバと、

(B) 前記波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ で第2の符号(-、+)のノンゼロの色分散を有する分散補償型の第2シングルモード光ファイバ(13)と、

(C) 前記波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ で分散が傾斜している傾斜分散補償型ファイバ(DSCF)と称する第3のシングルモード光ファイバ(14)と、を含み、前記(C)第3のシングルモード光ファイバの傾斜分散と長さは、前記波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ のすべての波長において、伝送パスの全色分散が公称上ゼロとなるよう選択されることを特徴とする波長分割多重化光ファイバ通信システム。

【請求項2】 前記(B)の分散補償型の第2のシングルモード光ファイバの全長は、前記波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ のうちの1つの波長において、伝送パスの全色分散が公称上ゼロとなるよう選択され、前記(C)の第3シングルモード光ファイバは、波長 λ_m で公称上ゼロの色分散となるよう選択されることを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項3】 前記(A)の第1シングルモード光ファイバと(B)の分散補償型第2シングルモード光ファイバと、前記(C)の第3シングルモード光ファイバのうちの1つは、分割されていることを特徴とする請求項1のシステム

【請求項4】 前記波長範囲 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ における傾斜分散は $-0.1 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ より小さいことを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項5】 前記波長範囲 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ における傾斜分散は $-0.5 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ より小さいことを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項6】 前記波長範囲 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ における傾斜分散は $1.0 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ より小さいことを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項7】 Nは3以上の整数であることを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項8】 前記(C)の第3シングルモード光ファイバである傾斜分散補償型光ファイバDSCFの屈折率プロファイルは、
コアは、 n_0 以上の屈折率を有し、
コアの外側にある内側クラッド領域は、 n_0 以下の屈折率を有し、

内側クラッド領域の外側にある屈折率リングは、 n_0 以上の屈折率を有し、
屈折率リングの外側にある外側クラッド領域は、 n_0 以下の屈折率を有し、

ここで n_0 は、熔融シリカの屈折率であることを特徴とする請求項1のシステム。

【請求項9】 所定の波長 λ_m で公称上ゼロの色分散Dを有し、

傾斜分散D'は、所定の波長 λ_m を含む λ_1 から λ_N の波長範囲にわたって $-0.1 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 以下であり、前記波長範囲は少なくとも12nmであることを特徴とする傾斜分散補償型光ファイバ。

【請求項10】 前記傾斜分散D'は、 $-0.5 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項9の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、分散を補償した波長分割多重化(WDM)光ファイバ通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】マルチチャネルのWDM光ファイバ通信システムは、将来の高ビットレート/長距離システム用の有力な候補である。高ビットレート(1チャネルあたり10Gbps以上)、長距離(数100km)のシステムにおいて主要な限界要素は色分散である。

【0003】長距離システムにおいては、以下の事項を考慮しなければならない。

(i) 光ファイバが、ゼロでない色分散を有する場合にはパルス拡散が発生してシンボル間干渉が起こる。

(ii) 色分散が伝送用ファイバに沿っていたところでゼロの場合には、4波混合(four-wave-mixing)のような線形効果によりシステムの性能が劣化する。

【0004】マルチチャネルWDMシステムを実現する際の重要な項目は、「分散の管理」である。前述した相反する要求からすると、分散管理の主要な要点は、局部的分散はノンゼロにする(前記のii対策)が、システム全体の分散はゼロを維持する(前記のi対策)ことである。これに関してはA. R. Chraplyvy et al. 著のIEEE Photonics Technology Letters Vol. 7, p. 98, 1995を参照のこと。

【0005】例えば、ある分散管理系は、システムの波長(例: 約1550nm)で分散(D)を $+2 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ である従来の光ファイバを使用し、数100km伝搬後蓄積分散が数100ps/nm-kmになった場合には、分散が $-2 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ のファイバをほぼ等しい長さ用いて分散を補償している。言い換えると、分散特性が逆の光ファイバをほぼ等しい長さ直列に接続することである。

【0006】別の分散管理系においては、システム波長

が1310nmでゼロ分散の従来の光ファイバとシステム波長が1550nmの+16ps/nm-kmの分散の光ファイバを用いている。1550nmの伝送窓で使用するためには高い負の分散を有する分散補償ファイバ

(Dispersion compensating fiber: DCF) を付加して色分散を低減あるいは除去している。通常、分散補償型ファイバの分散は、-90ps/nm-km以下(負の値が大きい)で、かつ適当な長さ(約10km)のDCFを伝送パス内に50-60kmごとに挿入している。この分散補償型ファイバDCFは、例えば米国特許第5448674号及び第5361319号に開示されている。

【0007】従来の分散管理系は、単一チャネルの光ファイバ通信システムでは有効であるが、マルチチャネルのシステムにおいては欠点がある。具体的に説明すると、システム的一端ですべてのチャネルの分散を完全に相殺(補償)することは容易にはできない。理由は、分散補償型ファイバの傾斜分散($dD/d\lambda$ 、あるいは D')は大きな値と負符号の2つの要件を満足することはできないからである。

【0008】例えば、現在入手できるDCFの分散は、 $D=-96\text{ps/nm-km}$ で、その傾斜は $D'=-0.2\text{ps/nm}^2\text{-km}$ である。30nmスペクトル範囲においてすべてのWDMチャネルの分散を完全に相殺するためには、従来の5D(登録商標)ファイバを伝送ファイバとして用いたとすると、その必要要件は、 $D_{5D}/D'_{5D}=D_{DCF}/D'_{DCF}$ である。 $D'_{5D}=0.07\text{ps/nm}^2\text{-km}$ であるので、この要件では、 $D'_{DCF}=-0.4\text{ps/nm}^2\text{-km}$ でなければならない。この傾斜の相違によりWDMシステムのチャネルの補償が等しくできないこととなる。

【0009】大きな(高い)負分散と高い負傾斜を有する光ファイバを入手できない主な理由は製造が難しいことにある。これらの特徴を有する光ファイバを設計する際の小さな変化が、光ファイバの特性の大きな変化につながり、このような光ファイバは信頼性高く製造することができない。

【0010】別の例では、+2ps/nm-kmの分散の光ファイバと-2ps/nm-kmの分散の光ファイバを交互に用い、両方の光ファイバの傾斜分散が正であるような系でも同様なことになる。

【0011】上記の従来技術の問題点からすると、傾斜分散補償器が必要なことが明らかである。このような補償器は光ファイバのスパンの一端に挿入され、従来手段により完全な分散補償が達成されるような波長 λ_0 でゼロ分散を有し、波長 λ_0 近傍で高い負の傾斜 D' を有する。

【0012】傾斜分散補償器として機能するデバイスは公知である。例えば、J. A. R. Williams et al. 著のIEE Photonics Technology Letters, Vol. 8, p. 1187,

(1996)の文献では、グレーティングベースの傾斜分散補償器が開示され、K. Takiguchi et al. 著のElectronics Letters, Vol. 32, p. 755(1996)では、平面型の光導波路回路が開示されている。しかし、グレーティングベースの傾斜分散補償器は、Erドープの光ファイバアンプの全ゲインスペクトルをカバーできないような限られたバンド幅しかなく(〜30nm)、その製造は位相マスク製造に対しきつい許容差を必要とし、製造後では、固定した傾斜分散しか提供できない。また、平面型の光導波路補償器も欠点がある。この補償器は、熱-光位相シフタの形態のアクティブな制御を必要とし、バンド幅が狭く高い挿入損失がある。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】WDM光ファイバ通信システムにおける分散補償の重要性に鑑み、本発明の目的は、幅広いバンド幅で、挿入損失が低く、単純で、頑強で、かつ安価な受動型分散補償器を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、改良したWDM光ファイバシステムで実現される。本発明のシステムは、N個($N>1$)のチャネルを有し、このすべてのN個のチャネルに分散がないようにするために、ある長さの傾斜分散補償用ファイバを有する。さらに、具体的には、本発明のシステムは、請求項1に記載したとおりである。具体的には、スペクトル領域 $\lambda_1 \cdots \lambda_N$ は、少なくとも12nmである。

【0015】さらに本発明は、請求項4~6の特徴を有する。-0.1ps/nm²·km以上の傾斜分散を有するDSCFの市場性はない。

【0016】本発明によれば、意図しない設計上または製造上の欠陥にのみ基づく分散以外は、チャネルの全分散は公称上ゼロとなる。多くの場合においては、分散補償ファイバの選択は、1つのチャネル(例としては、中心チャネル)の全分散が公称上ゼロとなるように行われる。このチャネルの波長は λ_0 で表す。より広い概念では、この λ_0 は傾斜分散補償が行われない場合、最低(絶対値で)の全分散を有するようなチャネルの波長である。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、本発明のWDM光ファイバ通信システム10を表す。このWDM光ファイバ通信システム10は、WDM送信機11と、WDM受信機12と、このWDM送信機11とWDM受信機12を信号の伝送が可能のように接続する光ファイバ伝送パスとを有する。この伝送パスは、従来のシングルモード光ファイバである適当な長さの分散補償型ファイバ(DCF)13と所定長の傾斜分散補償型ファイバ(DSCF)14とを有する。

【0018】WDM送信機11は、複数個(例: N個、

Nは2以上の整数)の入力と波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ の複数の光出力チャネルとを有する。WDM受信機12は、複数の光入力チャネルと複数の多重化出力とを有する。光ファイバ伝送パスは、通常様々種類の従来の構成要素(例:光増幅器、追加/ドロップノード、分散補償型ファイバ、グレーティング、アイソレータ、カプラー、タップ)を有するが、図1には図示していない。傾斜分散補償型ファイバ(DSCF)14は、伝送パスの下流側に配置され、Xで示す点で伝送用ファイバ13に接続される。この傾斜分散補償型ファイバ(DSCF)14は、システムの波長例えば $1.55\mu\text{m}$ でシングルモードの光ファイバであり、波長 λ_m (通常(必ずしも必要ではないが)中心チャネルの波長)でゼロ分散で、図2に示すような大きな(絶対値で)負の傾斜分散 D' を有する。

【0019】本発明をさらに具体例でもって説明する。

【0020】従来の正と負の分散を有するTrue Wave(登録商標)の伝送ファイバを用いた長さ640kmのWDMシステムを考える。正の分散を有する伝送ファイバは、波長 λ_m (例:1556nm)で $+2\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ の分散を有し、負の分散を有する伝送ファイバは $-2\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ の分散を有する。最初の320kmの長さは、正分散の光ファイバで、次の320kmは負分散の光ファイバである。中心チャネル λ_m は、かくして完全に補償されている、すなわち全体分散は公称上ゼロである。

【0021】均一に離間し、全チャネルのカバレッジが30nmのチャネルを考える。先頭チャネルと中心チャネルと最終チャネルの分散をそれぞれ D_1, D_m, D_N で表し、 $\lambda_1 < \lambda_m < \lambda_N$ と仮定する。ここで $\lambda_1 = \lambda_m - 15\text{nm}$ ($1556 - 15 = 1540$)で $\lambda_N = \lambda_m + 15\text{nm}$ ($1556 + 15 = 1571$)である。

【0022】正(負)分散のTrue Wave ファイバの一般的な分散値($\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 表示)では、 $D_1 = 1(-3)$ 、 $D_m = 2(-2)$ 、 $D_N = 3(-1)$ である。このようなシステムの分散マップを図3に示す。同図は、分散を送信機からの距離の関数として示している。図3から判るように、受信機端においてはチャネル1とNはそれぞれ、 -640ps/nm と $+640\text{ps/nm}$ の分散が蓄積される。

【0023】中心チャネル以外のすべてのチャネルにおける残留分散が存在することにより少なくとも高ビットレート(例えば10Gb/s以上)でシステム性能に対し好ましくない影響がある。これはDSCFを導入することにより回避できる。

【0024】DSCFの必要とされる傾斜分散は、上記のデータから容易に決定できる。この傾斜は、2つの両端のチャネル λ_1 と λ_N をこのチャネル間の周波数差で割り算した値の和である。すなわち $((-640) - (+640))\text{ps/nm}\cdot\text{km}/30\text{nm}$ である。これに

より D' は約 $-43\text{ps/nm}^2\cdot\text{km}$ になる。

【0025】必要な D_0 の値を含む所望の導波路特性を有する光ファイバの設計を容易にするような計算技法は、T. Lenahan著のBell System Technical Journal, Vol. 62, p. 2663 (1983)に開示されている。

【0026】図4は、上記の実施例におけるDSCFに必要なとされる特性を有するシングルモード光ファイバの正規化した屈折率プロファイルを表す。光ファイバは、MCVD光ファイバプリフォームを形成する従来技術により製造できる。この光ファイバはシリカベースの光ファイバで、屈折率が上がった領域($\Delta > 0$)ではゲルマニウムを、屈折率が低下した領域($\Delta < 0$)ではフッ素を含有している。ここで正規化した屈折率差 Δ は $(n_i - n_0)/n_0$ であり、ここで n_i はある層の屈折率、 n_0 は純融解シリカの屈折率である。

【0027】図4のプロファイルにおいては様々な層の屈折率差 Δn (光ファイバのコアから外側方向への順番に従って)が、それぞれ0.29%, -0.60%, -0.07%, -0.6%, 0.0%である。そしてそれに対応する半径は、4.060 μm , 6.496 μm , 8.607 μm , 10.028 μm 、あるいはコアの半径で表すと $a = 4.06\mu\text{m}$ で $a, 1.6a, 2.12a, 2.47a$ である。このファイバは波長1556nmで $D' = -1.129\text{ps/nm}^2\cdot\text{km}$ である。かくして約38kmの長さのこの光ファイバが、伝送パスの下流側に接続され、640kmWDMシステムのチャネル $\lambda_1 \dots \lambda_m - 1, \lambda_m + 1 \dots \lambda_N$ の残留分散が補償される。上記のファイバの損失は、約0.25dB/kmである。かくして全体の挿入損失は、9.5dBである。

【0028】さらに別の例として、波長1310nmでゼロ分散、中心チャネル($\lambda_m = 1545\text{nm}$)で 16ps/nm の分散の従来の5D伝送ファイバと、上記のDCFを用いたWDM光ファイバ伝送システムを考える。この全チャネルカバレッジは、やはり30nmで中心波長はDCFで完全に補償されている。5DファイバとDCFの分散特性は既知であり、それぞれ次の分散値($\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 表示)で示す。 $D_1 = 15, D_m = 16, D_N = 17, D_1 = -93, D_m = -96, D_N = -99$ である。ここで、添字1, m, Nは、それぞれ最短波長、中心波長、最長波長のチャネルを表す。

【0029】60kmの長さの通常の光ファイバと10kmの長さのDCFを有するシステムについて考える。このようなシステムのあるスパンの分散マップを図5に示す。ここで、数字51, 52, 53はそれぞれ $\lambda_1, \lambda_m, \lambda_N$ を表す。図5に示すように、分散は λ_m に対しては完全に補償されているが、 λ_1 と λ_N はそれぞれ -30ps/nm と $+30\text{ps/nm}$ の残留分散を有する。長距離システムにおいては、この残留分散は蓄積して、システムの性能に悪影響を及ぼす。かくしてこの残留分

散は、DSCFにより完全に補償しなければならない。

【0030】システムは1800 kmの長さの場合には、前述の実施例のアプローチを用いるとDSCFは、 $D' = -60 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ を有さなければならない。

【0031】この傾斜は、屈折率プロファイルを有するシリカベースのシングルモードファイバにより与えられる。同図は、正規化した屈折率 Δ を図4に示すような半径の関数として示す。この Δ の値は、コアからその外側のクラッド層に向かって0.30%、-0.60%、0.00%、-0.60%、0.00%であり、その対応する半径はコアの半径 $a = 4.04 \mu\text{m}$ とすると、 a 、 $1.62a$ 、 $2.09a$ 、 $2.44a$ である。このファイバでは、 $D' = -1.607 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ である。かくして、37 kmのファイバが1800 kmシステムの下流端に追加され、チャンネルの残留分散を補償する。挿入された損失はやはり、9 dBである。

【0032】本発明の傾斜分散補償は、公称上ゼロ分散チャンネルを有するよう分散補償されるWDMシステムに限定されるものではない。例えば、本発明のシステムは、部分的に補償することもできる。

【0033】すなわち、最低の分散チャンネルが λ_m チャンネルであり、すべてのチャンネルが大きな分散を有するような補償を有することもできる。上記のアプローチを用いて、あるチャンネル（通常 λ_m ）の分散を決定し、すべてのチャンネルの分散を受信機で公称上0にするような傾斜分散を決定し、そしてこの傾斜分散を有するDSCFを決定することもできる。

【0034】さらにまた、本発明の伝送パスは、全ての第1のシングルモードファイバを連続体で、第2のシングルモードファイバのすべてを連続体で、及び／又はすべてのDSCFを連続体でさせるような伝送パスを含むような伝送パスでもよい。さらにまたこれらのファイバは、ある長さがそれぞれのファイバの所定の長さに付加されるならば、いかなる形態で混合して（順序を入れ替えて）用いてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるWDM光ファイバ通信システムを表すブロック図。

【図2】傾斜分散補償型光ファイバ（Dispersion slope compensating fiber: DSCF）の分散を表す図。

【図3】分散補償されたファイバの3つのチャンネルの分散を表す図。

【図4】図3のシステム用のDSCFの屈折率プロファイルを表す図。

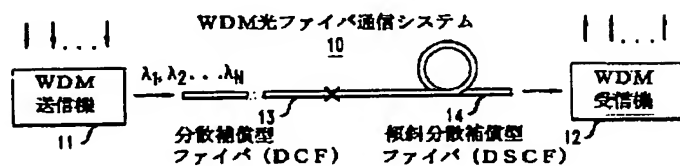
【図5】別の分散補償されたファイバの3つのチャンネルの分散を表す図。

【図6】図5のシステム用のDSCFの屈折率プロファイルを表す図。

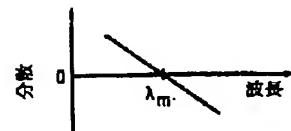
【符号の説明】

- 10 WDM光ファイバ通信システム
- 11 WDM送信機
- 12 WDM受信機
- 13 分散補償型ファイバ（DCF）
- 14 傾斜分散補償型ファイバ（DSCF）

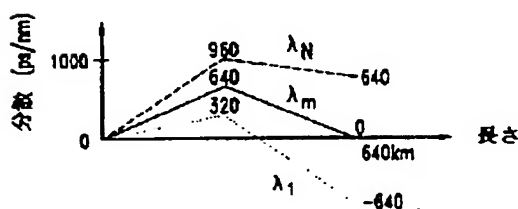
【図1】



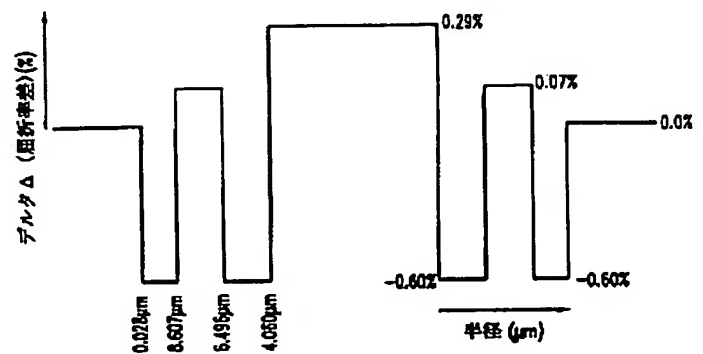
【図2】



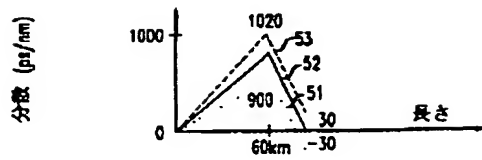
【図3】



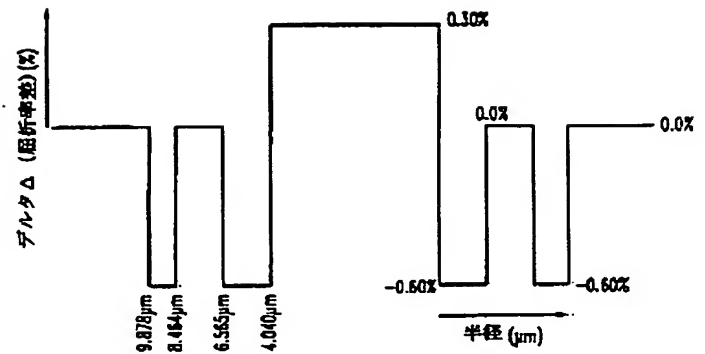
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁶
H04J 14/02

識別記号

F I

(71) 出願人 596077259
600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72) 発明者 アシシュ マドゥカー ヴェンサーカー
アメリカ合衆国、07922 ニュージャージ
ー、パークレー ハイッ、ダリア レーン
10